

УДК: 524.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛАКТИК С ПЕРЕМЫЧКОЙ. II. СРАВНИТЕЛЬНАЯ СТАТИСТИКА SB И SA ГАЛАКТИК В ОПТИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

А.Т.КАЛЛОГЛЯН, Р.А.КАНДАЛЯН

Поступила 28 ноября 1997

Сопоставлены различные характеристики галактик с перемычкой и без перемычки в двух полных выборках, составленных авторами. Получено, что по ряду параметров и свойств, как, например, по активности ядер и степени концентрации в группах, два типа спиральных галактик почти не отличаются друг от друга. Однако звездообразование, по-видимому, более эффективно протекает в галактиках с перемычкой. Перемычки более часто встречаются в промежуточных и поздних подтипах дисковых галактик. SB-галактики в группах в среднем более красные, чем вне групп. Построены функции светимости как галактик с перемычкой, так и галактик без перемычки.

1. *Введение.* Своей удивительной морфологией галактики с перемычкой всегда привлекали внимание исследователей. В настоящее время становится ясно, что перемычка является распространенной структурной деталью дисковых галактик. По имеющимся данным одна треть дисковых галактик обладает хорошо выраженной перемычкой, а еще одна треть - слабой внутренней перемычкой. Эти типы соответственно обозначаются SB и SAB. Последний тип, в сущности, является промежуточным между SB-галактиками и обыкновенными спиралями типа SA. Инфракрасные наблюдения показывают перемычки там, где в оптическом диапазоне их не видно.

Большее половины ранних SB-галактик обладают линзами, а более поздние, чем SBa подтипы - внутренними кольцами. Таким образом, кольца и линзы являются важными структурными деталями галактик с перемычкой. Кольца, по-видимому, являются местоположениями интенсивного звездообразования.

Сами перемычки имеют разнообразную морфологию. Часть из них более сплюснута, чем другие, в подтипах SBb и более поздних в перемычках наблюдаются полосы поглощающей материи. Примечательно, что в более ранних подтипах на концах перемычек наблюдаются области повышенной яркости, в некоторых случаях похожие на сверхассоциации.

Имеются некоторые указания на то, что SB-галактики довольно часто встречаются в двойных системах и небольших группах [1]. В [2] найдено,

что в скоплении Virgo карликовые галактики низкой светимости более часто являются спутниками SB, чем S-галактик.

Есть все основания полагать, что наличие перемычки влияет на градиент относительного содержания химических элементов: SB-галактики показывают более слабый градиент, чем обыкновенные спирали. Более того, в SB и SAB галактиках градиент относительного содержания [O/H] слабеет с увеличением относительной длины перемычек [3]. По-видимому, перемычки содействуют смешиванию газа вдоль дисков соответствующих галактик.

Согласно Арсено [4] в галактиках с перемычкой наблюдается усиление степени звездообразования. По сравнению с обыкновенными спиралями, в галактиках подтипов SB0 - SBbc имеется более высокая степень образования массивных звезд [5]. Филлипс [6] считает, что, вообще говоря, нет различий в степени звездообразования и других параметрах галактик с перемычкой и обыкновенных спиралей, когда оба принадлежат одним и тем же хаббловским подтипам. Однако в галактиках подтипов SBb - SBc влияние перемычки на степень звездообразования отчетливо видно в распределении местоположений очагов звездообразования.

Де Ёнг и др. [7] нашли, что SB-галактики более часто, чем S-галактики имеют инфракрасное излучение и обладают более горячими цветами в далекой инфракрасной области. Хаварден и др. [8] получили сильную зависимость средних ИК-цветов от наличия перемычки. Деверо [9] отмечает, что наличие перемычки в сильной степени коррелировано со степенью концентрации излучения.

Джиуричин и др. [10] установили, что на 10 μm SB-галактики ярче S-галактик, в основном потому, что они чаще содержат ядра, похожие на III-области.

Согласно Хуангу и др. [11] наличие перемычки определенно влияет на степень звездообразования в ранних, но не поздних типах спиралей.

Каллоглян и Кандалян [12] показали, что радиосветимости центральных источников в галактиках с перемычкой в среднем в 2 раза мощнее, чем в обычных спиралях.

Однако имеются и противоположные результаты и мнения. Так, наблюдения Деверо и др. [13] выборки близлежащих сравнительно слабых галактик на 10 μm не показывают какого-либо интенсивного излучения в близъядерных областях SB-галактик. Эскридж и Погге [14] считают, что наличие или отсутствие перемычек не влияет на степень звездообразования в линзовидных галактиках. Более того, Айзоб и Файгельсон [15] нашли, что в объемно-ограниченной выборке SB-галактики имеют более низкие светимости в далекой инфракрасной области, чем S-галактики. Эффект перемычки не найден также в близкой

ИК-области [16].

С целью глобального исследования вопроса о возможных эффектах, связанных с наличием перемычки в спиральных галактиках, мы составили полные выборки SB + SAB и S-галактик. Список SB-галактик приведен в нашей первой статье этой серии [17]. В следующей же работе этой серии мы рассмотрим ИК-особенности галактик с перемычкой [18].

По зависимости $\lg N-m$ и по критерию V/V_{\max} наши выборки являются полными до $13^m.5$. Отметим, однако, что в выборку SB + SAB галактик включены объекты севернее -10° , а в выборку S-галактик - только в интервале склонений $[0, +30^\circ]$. В наших списках всего 690 SB + SAB галактик и 456 галактик без перемычек. При этом в последнюю выборку включены также эллиптические галактики, как объекты без перемычек. Отметим, что число SB-галактик без подтипа SB0 равно 603, а число обычных спиральных галактик без эллиптических и S0-галактик - 231.

2. *Функция светимости и распределение по морфологическим подтипам.* На рис.1 приводятся функции светимости спиральных галактик с перемычкой и без перемычки. Для постоянной Хаббла принято значение $H = 75 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$. Функция светимости была вычислена по формуле Шмидта [19]:

$$F(M_i) = \frac{4\pi}{\Omega} \frac{1}{\Delta M_i} \sum_i 1/V_{\max}(m_i), \quad (1)$$

где Ω - телесный угол небесной сферы, занимаемый галактиками выборки; для нашей выборки галактик с перемычкой $\Omega = 4\pi \cdot 0.55 = 2.20\pi$. ΔM_i - интервал разделения абсолютной звездной величины. Мы принимали $\Delta M_i = 1$. $V_{\max}(m_i)$ представляет максимальный объем пространства для конкретного объекта, в пределах которого данная галактика все еще принадлежит к исследуемой выборке, а именно

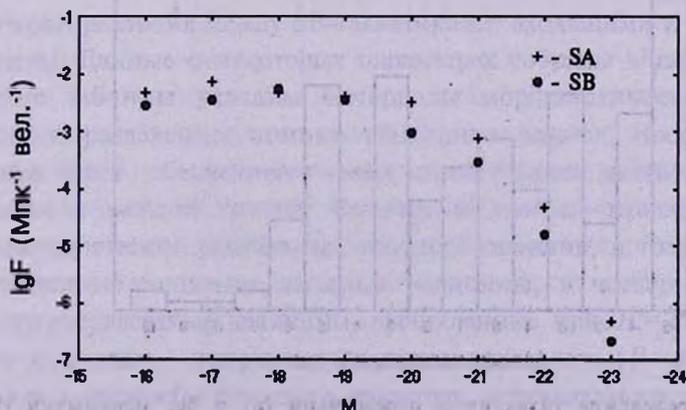


Рис.1. Функция светимости галактик с перемычкой и без перемычки.

$$m_i \leq 13.5.$$

Из рис.1 видно, что при промежуточных светимостях количества S и SB + SAB галактик равны. Это находится в хорошем согласии с имеющимися данными об относительных количествах обоих типов спиралей. При светимостях ярче и слабее промежуточных значений доля SB + SAB галактик снижается до 25% от общего числа дисковых галактик. Такое падение в случае слабых галактик можно объяснить тем, что перемычки, возможно, трудно обнаруживаются в слабых галактиках, а в ярких галактиках слабые внутренние перемычки SAB-галактик теряются из-за передержки изображений. Раздельное рассмотрение двух подтипов галактик с перемычкой показывает, что SAB-галактики в среднем на $0^m.3$ ярче SB-галактик.

На рис.2 приводятся распределения дисковых галактик по морфологическим подтипам. Как видим, для обоих типов дисковых галактик максимум распределений довольно широкий и занимает промежуточные морфологические подтипы Sb - Sbc - Sc. Однако имеются

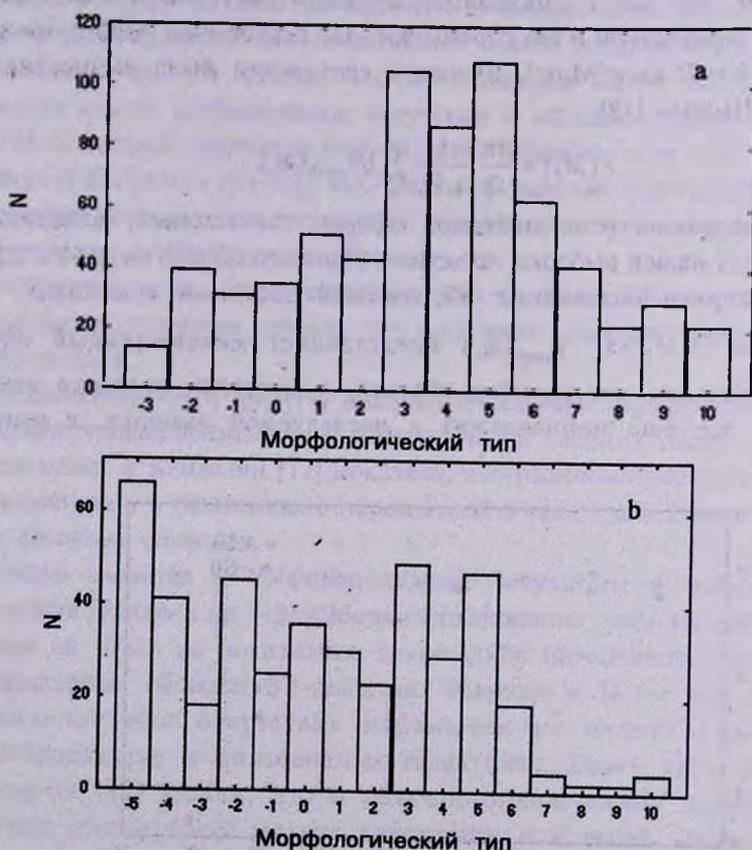


Рис.2. Распределение галактик с перемычкой (а) и без перемычки (б) по морфологическим типам. Обозначения типов согласно RC3.

и существенные различия в двух распределениях. Так, среди галактик с перемычкой около 25% принадлежат к подтипу Sc и более поздним, тогда как в этом интервале находятся только 9% S-галактик. Соответственно, в S-галактиках преобладают более ранние, чем Sb подтипы. Они составляют около 50% всех S-галактик, а доля этих подтипов среди SB-галактик - около 30%.

Суммируя вышесказанное, мы приходим к выводу, что около 70% SB + SAB галактик имеют подтипы b и более поздние, между тем к этим подтипам принадлежат только 45% обыкновенных спиралей типа SA.

Мы рассмотрели также распределение галактик с перемычкой по морфологическим подтипам в группах и вне них. Отождествления галактик с группами приведены в [17]. Как видно из рис.3, оба распределения повторяют друг друга.

Однако в отличие от этого, в случае других параметров имеются

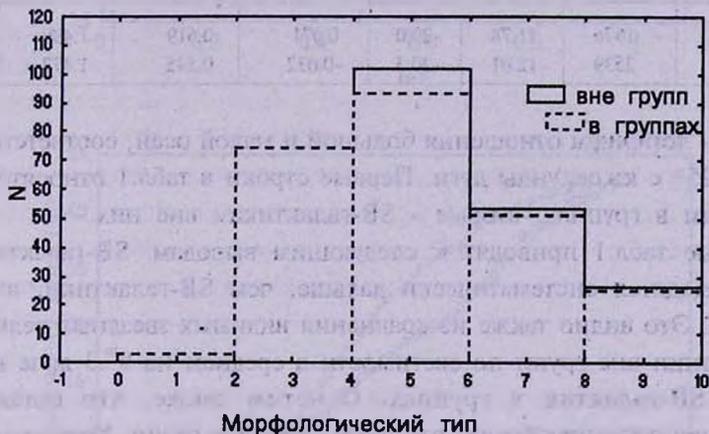


Рис.3. Распределение галактик с перемычкой в группах и вне них по морфологическим типам.

некоторые различия между SB-галактиками, входящими и не входящими в группы. Данные о некоторых параметрах собраны в табл.1. В первом столбце таблицы указаны интервалы морфологических подтипов. Подобное разделение, помимо выделения ранних, промежуточных и поздних типов, обеспечивает также статистически значимое количество галактик в каждой группе. Во втором столбце приведены средние виргецентрические радиальные скорости галактик, в третьем - средние исправленные видимые звездные величины, в четвертом - средние абсолютные звездные величины, вычисленные при $H = 75 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$, в пятом и шестом - исправленные показатели цвета $(U - V)_0$ и $(B - V)_0$, в седьмом - логарифм большого диаметра, исправленного за наклон, и в

НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ SB-ГАЛАКТИК В ГРУППАХ И ВНЕ НИХ

Морф. тип	V_{vc}^{Γ}	B_0^{Γ}	M_0^{Γ}	$(U-B)_0^{\Gamma}$	$(B-V)_0^{\Gamma}$	$\lg D_0^{\Gamma}$	$\lg R_{25}^{\Gamma}$
	V_{vc}^{BR}	B_0^{BR}	M_0^{BR}	$(U-B)_0^{BR}$	$(B-V)_0^{BR}$	$\lg D_0^{BR}$	$\lg R_{25}^{BR}$
E/SB0-SB0a?	1716	12 ^m .11	-19 ^m .5	0 ^m .349	0 ^m .808	1.439	0.228
	2281	12.19	-20.1	0.328	0.779	1.466	0.153
SB0a-SBab	2184	11.89	-20.1	0.235	0.734	1.489	0.226
	2794	12.20	-20.4	0.074	0.645	1.426	0.204
SBb-SBc?	2348	11.74	-20.4	-0.038	0.554	1.490	0.233
	3134	11.98	-20.7	-0.071	0.519	1.464	0.218
SBc-Irr	1333	11.54	-19.3	-0.273	0.362	1.563	0.233
	1497	11.88	-19.3	-0.216	0.399	1.534	0.248
Средн.	1976	11.78	-20.0	0.071	0.619	1.499	0.231
	2539	12.01	-20.3	-0.032	0.545	1.477	0.218

восьмом - логарифм отношения большой и малой осей, соответствующих изофоте 25^m с кв.секунды дуги. Первые строки в табл.1 относятся к SB-галактикам в группах, вторые - SB-галактикам вне них.

Данные табл.1 приводят к следующим выводам: SB-галактики вне групп находятся систематически дальше, чем SB-галактики, входящие в группы. Это видно также из сравнения видимых звездных величин B_0 . SB-галактики вне групп по светимости в среднем на 0^m.3 ярче и слегка голубее SB-галактик в группах. Отметим также, что галактики с перемычкой в группах более сплюснуты, чем вне групп. Хотя отмеченные различия в статистическом смысле не очень значимы, однако все же мы хотели обратить на это внимание из-за того, что они почти всегда систематические.

Для иллюстрации на рис.4 приведены распределения показателей цвета $(U-B)_0$ и $(B-V)_0$ для SB-галактик в группах и вне групп. Бросается в глаза однотипность распределений $U-B$ и $B-V$ цветов. Различия в распределениях обоих цветов для SB-галактик в группах и вне них очевидны. Отметим, что для галактик без перемычки распределение цветов до $B-V=0.8$ и $U-B=0.3$ не зависит от того, входят они в группы или нет. Для более красных цветов имеет место обратное тому, что наблюдается для SB-галактик.

3. Сравнение SB-галактик с галактиками без перемычек. В табл.2 приведены некоторые характеристики галактик с перемычкой и без перемычки, независимо от того, входят они в группы или нет.

При этом в обе выборки включены дисковые галактики всех подтипов, от линзовидных до самых поздних. В выборку галактик без перемычки включены также E-галактики, как объекты, не имеющие перемычек.

Как видно из приведенных в табл.2 данных, имеются некоторые

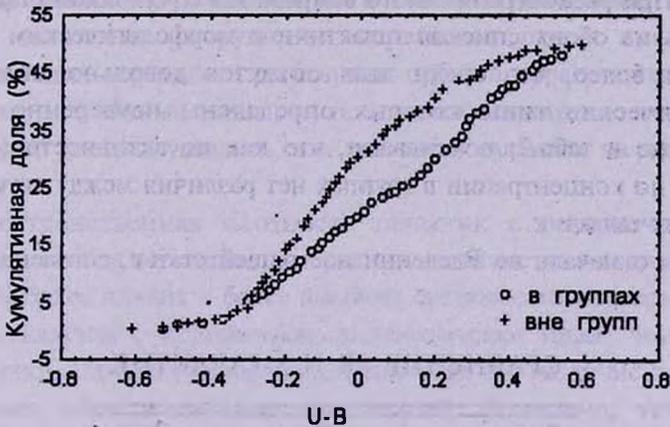
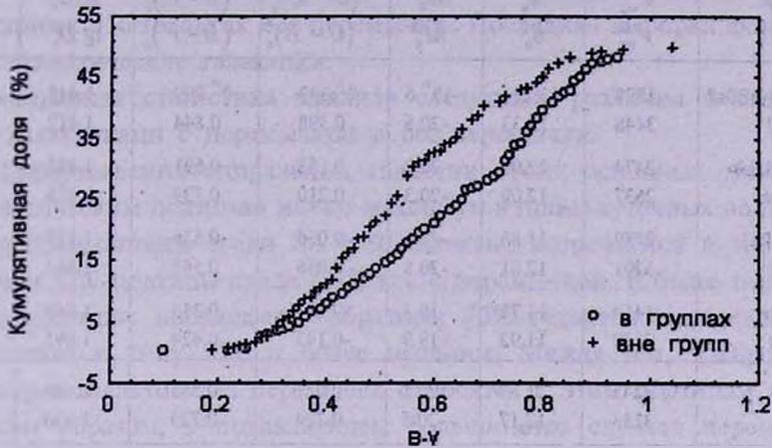


Рис.4. Кумулятивная доля галактик с перемычкой в группах и вне них в зависимости от U - V и B - V.

различия между двумя типами галактик. Галактики без перемычки находятся в среднем в 1.4 раза дальше, чем галактики с перемычкой. Соответственно по видимым звездным величинам галактики без перемычки слабее SB-галактик. Однако по светимости они в среднем на 0^m.4 ярче SB-галактик. Во всех морфологических подтипах SB-галактики систематически голубее галактик без перемычки. По сплюснутости выборки почти не отличаются друг от друга.

Представляет особый интерес сравнение двух типов спиральных галактик с точки зрения их активности и принадлежности к системам

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЛАКТИК С ПЕРЕМЫЧКОЙ И БЕЗ ПЕРЕМЫЧКИ

Морф. тип	V_{vc}^{SB}	B_0^{SB}	M_0^{SB}	$(U-B)_0^{SB}$	$(B-V)_0^{SB}$	$\lg D_0^{SB}$	$\lg R_{25}^{SB}$
	V_{vc}^S	B_0^S	M_0^S	$(U-B)_0^S$	$(B-V)_0^S$	$\lg D_0^S$	$\lg R_{25}^S$
E/SB0-SB0a?	1898	12 ^m .14	-19 ^m .6	0 ^m .343	0 ^m .799	1.448	0.204
E-S0a?	3448	12.33	-20.5	0.398	0.844	1.412	0.143
SB0a-SBab	2474	12.04	-20.2	0.158	0.691	1.458	0.215
S0a-Sab	2637	12.09	-20.3	0.210	0.739	1.423	0.272
SBb-SBc?	2739	11.86	-20.6	-0.056	0.536	1.477	0.225
Sb-Sc?	3201	12.01	-20.8	-0.056	0.547	1.443	0.238
SBc-Irr	1419	11.71	-19.3	-0.241	0.383	1.548	0.241
Sc-Sm	2150	11.92	-19.9	-0.143	0.424	1.495	0.307
Средн.	2245	11.89	-20.1	0.021	0.583	1.488	0.225
	3133	12.17	-20.5	0.224	0.729	1.430	0.204

галактик. При рассмотрении этого вопроса мы сочли более оправданным исключить из обоих списков галактики с морфологическим индексом $T < 0$, тем более, что среди этих объектов довольно много таких, морфологические типы которых определены неуверенно. Данные, приведенные в табл.3, показывают, что как по активности (см. также [5]), так и по концентрации в группах нет различия между двумя типами спиральных галактик.

Как мы отмечали во Введении настоящей статьи, согласно Фриману

Таблица 3

СРАВНЕНИЕ SB И S-ГАЛАКТИК

Выборка галактик	Число SB-галактик	Число S-галактик
Спиральные	603	231
AGN	35	13
	6%	6%
Члены групп	299	116
	50%	50%

[1], имеется избыток SB-галактик в двойных галактиках и небольших группах. Однако автор не уточняет, по сравнению с чем этот избыток.

Отметим, что включение в статистику исключенных из рассмотрения галактик с $T < 0$ почти не меняет полученных результатов.

4. *Обсуждение.* В настоящей статье мы ставили цель путем сравнения полных выборок SB и SA галактик выявить влияние перемычек на наблюдаемые свойства спиральных галактик. Для этого был составлен каталог 690 галактик с перемычкой типов SB и SAB, являющийся полной выборкой до $13^m.5$. До этой же величины является полным составленный нами список 456 галактик без перемычки. Последняя выборка включает также эллиптические галактики.

Проведенная статистика выявила следующие различия и сходства между галактиками с перемычкой и без перемычки.

а) Распределения спиральных галактик обоих основных типов по морфологическим подтипам имеют максимум в промежуточных подтипах. Однако S0-галактики среди SA + S0 галактик встречаются в три раза чаще, чем SB0-подтипы среди галактик с перемычкой. В более поздних, чем bc подтипах наблюдается обратное: 70% галактик с перемычкой принадлежат к типу SBb и более поздним. Между тем, только 45% спиральных галактик без перемычек относятся к этим подтипам.

Таким образом, в подавляющем большинстве случаев перемычки встречаются в промежуточных и более поздних типах дисковых галактик. Существует мнение [1], что линзы в обычных спиральных, возможно, являются остатками разрушения перемычек путем превращения поддерживающих перемычки регулярных орбит в иррегулярные орбиты. Означает ли полученный нами результат, что большинство перемычек в ранних типах уже разрушилось, т.е. эти типы галактик являются более старыми?

б) Пространственная плотность галактик с перемычкой и без перемычки почти та же самая при средних светимостях в интервале -18.5 $+$ -19.5 . При более низких и более высоких светимостях пространственная плотность галактик с перемычкой систематически ниже, чем галактик без перемычки. Однако при низких светимостях это различие не значимо, в противовес области высоких светимостей. Возможно, что в ярких галактиках типа SAB слабые внутренние перемычки теряются в ярких центральных частях и при классификации не обнаруживаются.

в) Распределение по морфологическим типам одинаково для галактик с перемычкой, входящих и не входящих в группы. Это говорит о том, что окружение не влияет на морфологию галактик с перемычкой. Однако это же окружение, по полученным нами данным, по всей вероятности, влияет на спектральный состав этих галактик: SB-галактики, не входящие в группы, в среднем более голубые, чем входящие в группы. Это касается обоих U-V и B-V цветов. Средние значения показателей цвета приведены в табл.4. Во вторых строках указаны стандартные ошибки.

СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦВЕТА SB-ГАЛАКТИК

Показатели цвета	Галактики в группах	Галактики вне групп
$(U - B)_0$	$0^m.071$ ± 0.020	$-0^m.032$ ± 0.019
$(B - V)_0$	0.619 ± 0.014	0.545 ± 0.014

Различия в цветах в табл.4 значимы на уровне более 3σ . Возможно, что эти различия вызваны звездообразовательной активностью галактик с перемычкой в группах. Отметим, что для галактик без перемычки, по нашим данным, подобной картины не наблюдается.

5. *Основные результаты.* Ниже обобщаются основные результаты этой статьи.

а) Построена функция светимости галактик с перемычкой и без перемычки.

б) В подавляющем большинстве случаев перемычки встречаются в промежуточных и более поздних подтипах дисковых галактик.

в) SB-галактики, входящие в группы, в среднем более красные, чем SB-галактики, не входящие в группы. Такое различие, по всей вероятности, вызвано звездообразовательной активностью галактик с перемычкой в группах.

г) Нет существенных различий между оптическими характеристиками галактик с перемычкой и без перемычки.

д) Как по активности ядер, так и по концентрации в группах нет различия между SB и SA галактиками.

В следующей работе [18] мы покажем, что в ИК-области спектра галактики с перемычкой и без перемычки существенно отличаются друг от друга.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория, Армения

INVESTIGATION OF BARRED GALAXIES. II. A COMPARATIVE STATISTICS OF SB AND S GALAXIES IN OPTICAL RANGE

A.T.KALLOGHLIAN, R.A.KANDALIAN

Different optical characteristics of galaxies with and without bars are compared in two complete samples compiled by authors. It is found that by several parameters and properties as for example the nuclear activity and concentration degree into groups are both types of spiral galaxies practically do not differ from each other. However the star formation apparently is more effective in barred spirals. The barred spirals are more oftenly of intermediate and late subtypes. The barred in groups are in the mean redder that that of outside of groups. The luminosity functions of galaxies with and without bars are constructed.

ЛИТЕРАТУРА

1. *K.C.Freeman*, in "Barred Galaxies", eds. R.Buta, D.A.Crocker, B.G.Elmgreen, ASP Conf. series, vol. 91, 1996.
2. *A.T.Kalloghlian*, *Astrofisica*, 38, 630, 1995.
3. *P.Martin, J.-R.Roy*, *Astrophys. J.*, 424, 599, 1994.
4. *R.Arsenault*, *Astron. Astrophys.*, 217, 66, 1989.
5. *L.C.Ho, A.V.Filippenko, W.L.W.Sargent*, in "Barred Galaxies", eds. R.Buta, D.A.Crocker, B.G.Elmgreen, ASP Conf. series, vol. 91, 1996.
6. *A.C.Phillips*, in "Barred Galaxies", eds. R.Buta, D.A.Crocker, B.G.Elmgreen, ASP Conf. series, vol. 91, 1996.
7. *T.De Jong, P.E.Clegg, B.T.Soifer et al*, *Astrophys. J.*, 278, L67, 1984.
8. *T.G.Hawarden, C.M.Mountain, S.K.Leggett, P.J.Puxley*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 221, 41, 1986.
9. *N.A.Devereux*, *Astrophys. J.*, 323, 91, 1987.
10. *G.Giuricin, L.Tamburini, F.Mardirossian, M.Mezzetti, P.Monaco*, *Astrophys. J.*, 427, 202, 1994.
11. *J.H.Huang, Q.S.Gu, H.J.Su, T.G.Hawarden, X.H.Liao, G.X.Wu*, *Astron. Astrophys.*, 313, 13, 1996.
12. *A.T.Каллоглян, Р.А.Кандалян*, *Астрофизика*, 24, 47, 1986.
13. *N.A.Devereux, E.E.Becklin, N.Scoville*, *Astrophys. J.*, 312, 529, 1987.
14. *P.B.Eskridge, R.W.Pogge*, *Astron. J.*, 101, 2056, 1991.
15. *T.Isobe, E.D.Feigelson*, *Astrophys. J. Suppl. ser.*, 79, 197, 1992.

16. *G.Giuricin, A.Biviano, M.Girardi, F.Mardirossian, M.Mezzetti, Astron. Astrophys., 275, 390, 1993.*
17. *Р.А.Кандалян, А.Т.Каллоглян, Астрофизика, 41, 5, 1998.*
18. *Р.А.Кандалян, А.Т.Каллоглян, Астрофизика, 1998 (в печати).*
19. *M.Schmidt, Astrophys. J., 151, 393, 1968.*